

# Searching for Cu, Cd, Zn Bioindicator Species of Macrofauna Benthic in Kangean Archipelago and Surabaya, Indonesia

Aunurohim<sup>1</sup>

**Abstract**—The comparative study of copper accumulation, cadmium and zinc by macro fauna benthic species has been achieved in the Kangean Archipelago and Surabaya (Indonesia). The preliminary survey had been taken because of the scientific data did not exist on the metallic contamination in the Kangean Archipelago. In comparison, Surabaya is an industrial city that presents a strong potential contamination of copper; cadmium and zinc refer to the previous studies. The main object of the research was comparing the contamination level of the two sites by the slant concentration measurement on the abundant of macro fauna benthic species. It would be possible to define the bio indicator species of the contamination in order to use it as the term on the whole inter tropical centre. The results showed that there was a specific differentiation between copper and cadmium concentration for *Gafrarium tumidum* (Kangean) in a varied sizes; *Anadara inadequate* collected from Kangean had shown the same variation but not for the cadmium concentration. The variances analysis of two factors (size vs site) on *Anadara inadequate* from both of sites showed that there were specific differentiation between copper and zinc concentration, but not for cadmium. Generally, the contamination level of copper, cadmium and zinc in Surabaya is higher than Kangean. The species of *Nassarius globosus*, *Saccostrea cucullata*, *Hinia* sp and *Anadara inadequate* can be used to bioindicator species. The *Anadara inadequate* species is an ideal bioindicator species for the surveillance of cadmium contamination because they mostly found in the both of sites and accumulated (in average) strongly with 10,98 - 11,31 µg/g dry weight.

**Keywords** — Ccopper, Cadmium and Zinc Pollution, Macrofauna Benthic, Kangean Archipelagos and Surabaya, Bioindicator Species.

## PENDAHULUAN

Penelitian mengenai bioakumulasi logam berat pada makrofauna benthik telah banyak dilakukan sejak tahun 1976 dengan program monitoring jangka panjang “Mussel Watch” [1,2,3,4,5]. Sebagai spesies bioindikator, makrofauna benthik dianggap mampu memberikan informasi secara historis mengenai pencemaran yang terjadi disuatu perairan, termasuk perairan laut oleh logam berat karena sifatnya yang *sedimentaire* [6].

Ekosistem mangrove tropis merupakan salah satu ekosistem yang menjadi bagian dari kegiatan monitoring lingkungan dengan mengacu pada lokasi yang di-

perkirakan tercemar berat logam berat [7] dan relatif tidak tercemar karena tidak ada kegiatan industri. Oleh karena itu, digunakan dua lokasi pengamatan yaitu di pantai Kenjeran dan kepulauan Kangean Madura sebagai lokasi perbandingan, sekaligus untuk mengetahui jenis spesies makrofauna benthik yang dapat digunakan sebagai bioindikator logam berat.

Tujuan utama kegiatan ini adalah untuk mencari spesies bioindikator logam berat, selain juga membandingkan antara lokasi yang diperkirakan tercemar dan tidak tercemar. Data yang diperoleh akan dibandingkan dengan data kegiatan monitoring yang telah dilakukan, baik didaerah tropis maupun didaerah sub tropis.

## MATERIAL DAN METODE

**Lokasi Sampling.** Lokasi sampling dilakukan di dua pulau yang berbeda (Gambar 1 dan 2), yaitu pulau Jawa (pantai Kenjeran, Surabaya) dan pulau Madura (kepulauan Kangean, Madura). Lokasi pantai Kenjeran yang terletak dibagian timur kota Surabaya merupakan muara dari sungai Brantas, dan sepanjang daerah aliran sungai dipenuhi oleh beragam industri dan pemukiman. Kondisi ini memberikan kontribusi pencemaran yang besar, termasuk logam berat.

**Sampling.** Sampling dilakukan pada saat musim hujan dengan metode *hand sorting* (pemungutan langsung) pada waktu surut [4]. Semua spesies makrofauna benthik (terutama dari klas Bivalvia dan Gastropoda yang masih hidup) yang ditemukan di lokasi penelitian dipungut dan ditempatkan pada kantong plastik untuk diidentifikasi lebih lanjut di laboratorium.

Analisis identifikasi dilakukan di laboratorium dengan mengacu pada buku “Compendium of Seashells” [8]. Setelah diidentifikasi, dipisahkan antara cangkang dan hewannya. Cangkang diperlukan untuk pengukuran biometrik dan hewan digunakan untuk analisa logam berat.

**Perlakuan pada Sampel di Laboratorium.** Sampel yang bercangkang seperti klas Bivalvia yang mempunyai ukuran berbeda dilakukan uji biometrik. Sedangkan sampel yang tidak bercangkang seperti *Archaster typicus* tidak dilakukan uji biometrik. Hewan yang telah dipisahkan dari cangkangnya ditimbang sebagai berat basah dan dilanjutkan dehidrasi dengan menggunakan oven selama ± 2 hari pada 60°C untuk memperoleh berat kering. Sampel yang telah mengalami dehidrasi kemudian dihomogenisasikan menggunakan mortir keramik sampai didapatkan dalam bentuk serbuk dan disimpan dalam botol

Naskah diterima pada 14 Maret 2009, selesai revisi pada 16 Mei 2009

<sup>1</sup> Aunurohim adalah dosen Program Studi Biologi, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA  
Email : aunurohim@bio.its.ac.id

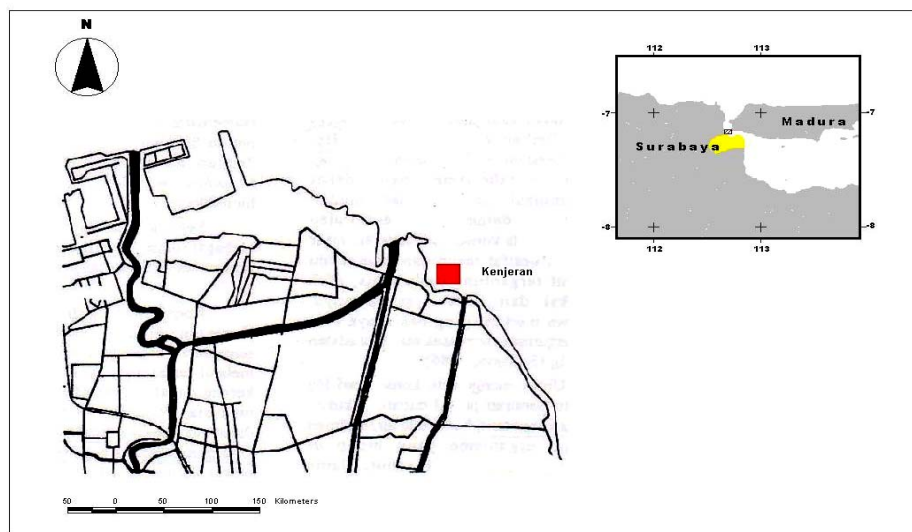
plastik kering untuk dipersiapkan pada proses berikutnya yaitu mineralisasi.

Sekitar 300 mg (sebagai batas berat minimal yang dapat dideteksi oleh *Atomic Absorption Spectrophotometri* - AAS) sampel ditimbang untuk proses mineralisasi, dan ditempatkan pada *beaker glass* 100 ml [9]. Sampel yang telah siap, dibawa ke ruang asam untuk pemberian  $\text{HNO}_3$  14N sebanyak 5 ml dan ditempatkan pada *teflon bomb* pada suhu  $100 - 150^\circ\text{C}$  selama sekitar 2-3 hari hingga diperoleh endapan berwarna putih. Endapan yang diperoleh ditambahkan dengan 10 ml  $\text{HNO}_3$  0,3N, dikocok sampai larut, dan disimpan dalam botol plastik, dan siap untuk dilakukan analisa logam berat menggunakan AAS Spectra AA 250 Plus dengan metode *flame*.

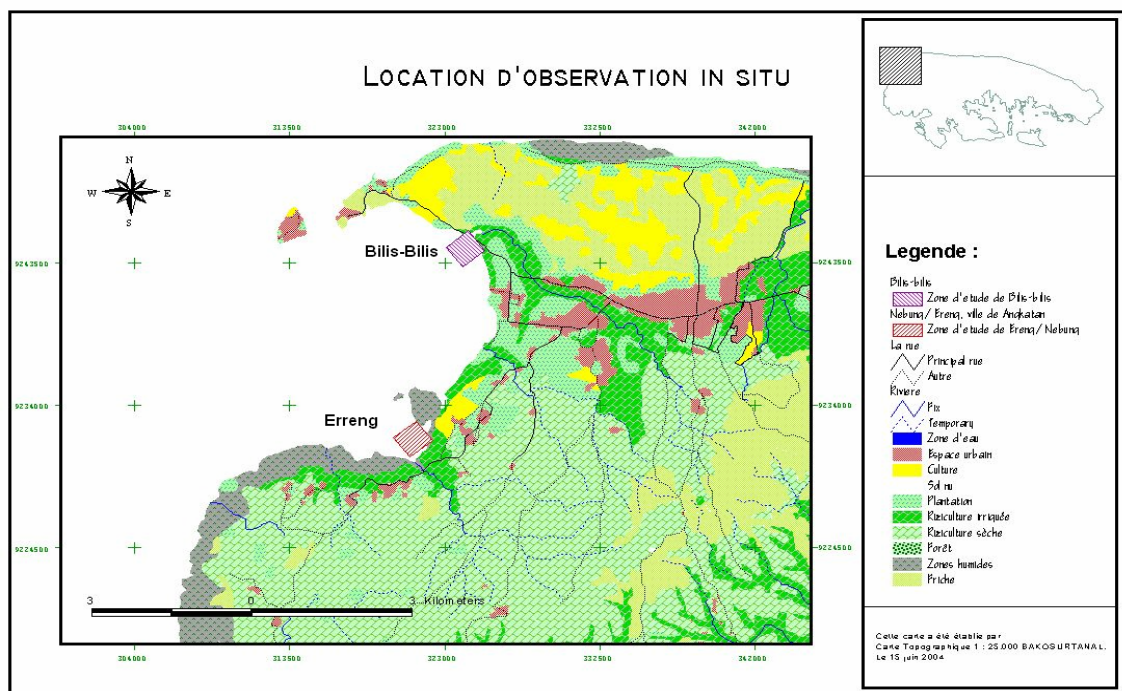
Selain sampel utama, sampel kontrol dan sampel referensi juga dilakukan bersamaan sebagai upaya infor-

matif bahwa proses mineralisasi dan analisa logam berat yang dilakukan telah sesuai dengan prosedur. Untuk sampel referensi digunakan DOLT-3 (Dogfish Liver Certified Reference Material for Trace Metal) yang direkomendasikan oleh *Conseil National de Recherche de Canada*. Harapannya adalah nilai DOLT-3 pada masing-masing logam berat pada saat pengukuran masih dalam batas sertifikasi, agar nilai logam berat terukur pada sampel utama dapat dipertanggungjawabkan nilainya.

**Analisa Data.** Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan program statistik MINITAB versi 13 [10]. Sebelumnya dilakukan verifikasi variasi homogenitas data (test Bartlett) dan tes distribusi normal (test Anderson-Darling). Data yang menunjukkan perbedaan secara signifikan dianalisa dengan menggunakan ANOVA satu arah dengan derajat ketelitian  $p < 0,05$ .



Gambar 1. Lokasi sampling di pantai Kenjeran, Surabaya



Gambar 2. Lokasi sampling di Bilis-Bilis dan Erreng, kepulauan Kangean, Madura

## HASIL

**Uji Biometrik.** Uji biometrik dilakukan karena melimpahnya individu *Anadara inadequate* dan *Gafrarium tumidum* sehingga perlu dibagi menjadi ukuran yang berbeda yaitu ukuran besar, sedang dan kecil.

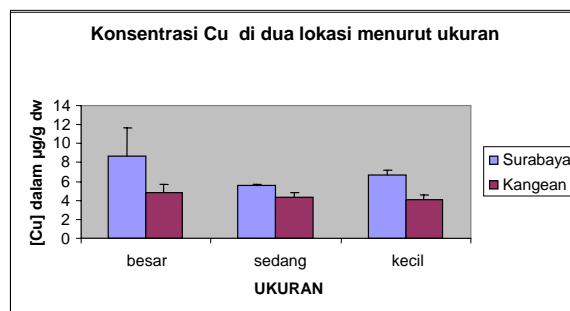
**Hubungan Antara Ukuran Spesies dan Akumulasi Logam.** Rata-rata ukuran spesies yang memberikan hasil berbeda nyata secara signifikan diduga memiliki hubungan dengan tingkat akumulasi masing-masing logam. Pada logam Cu, spesies *Anadara inadequate* (Kangean dan Surabaya) yang berukuran besar mengakumulasi lebih tinggi dibandingkan yang berukuran sedang dan kecil. Sedangkan spesies *Gafrarium tumidum* (Kangean) yang berukuran sedang mengakumulasi lebih tinggi dibandingkan yang berukuran besar dan kecil. Hasil uji ANOVA satu faktor menunjukkan bahwa akumulasi logam Cu pada *G.tumidum* secara signifikan tergantung pada ukuran individu, dan akumulasi logam Cu pada *A.inadequate* bernilai tidak signifikan.

Pada logam Cd, spesies *A.inadequate* (Kangean dan Surabaya) dan *G.tumidum* (Kangean) yang berukuran besar mengakumulasi logam lebih tinggi dibanding

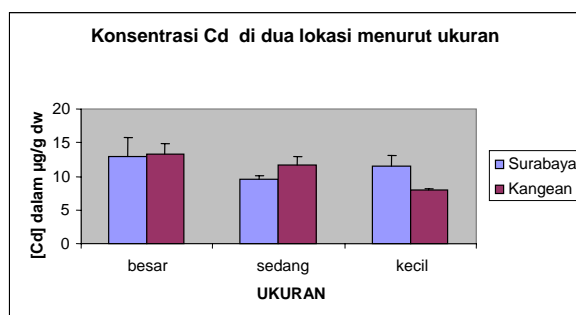
yang berukuran sedang dan kecil. Hasil uji ANOVA satu faktor menunjukkan bahwa hanya *A.inadequate* dari Surabaya yang tidak menunjukkan hasil signifikan atau tergantung pada ukuran.

Pada logam Zn memberikan hasil yang bervariasi. Spesies *A.inadequate* (Kangean) yang berukuran besar mengakumulasi lebih tinggi dibanding yang berukuran sedang dan kecil. Sedangkan pada spesies *A.inadequate* (Surabaya), justru yang berukuran kecil yang mengakumulasi lebih tinggi dibanding yang berukuran besar dan sedang. Lain pula halnya dengan spesies *G.tumidum* (Kangean), spesies yang berukuran sedang mengakumulasi lebih tinggi dibanding yang berukuran besar dan kecil. Dan hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada signifikansi antara ukuran spesies dengan tingkat akumulasi logam Zn.

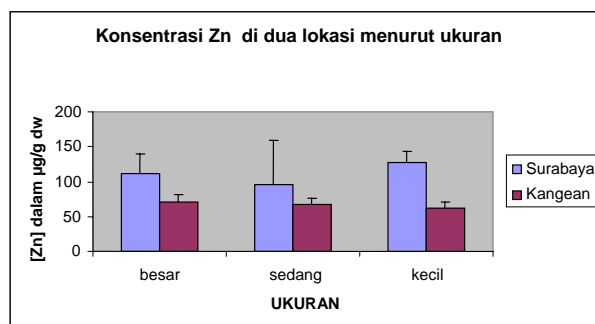
**Perbandingan Tingkat Akumulasi Logam Menurut Lokasi.** Untuk membandingkan tingkat akumulasi logam menurut lokasi maka harus digunakan spesies yang sama dan ditemukan di kedua lokasi. Spesies *A.inadequate* dengan kelimpahannya yang tinggi dan bersifat kosmopolitan memberikan nilai lebih sebagai kandidat untuk spesies bioindikator logam berat.



(a)



(b)



(c)

Korelasi	F	P
[Cu] vs ukuran	3,18	0,078
[Cu] vs lokasi	18,11	0,001*
[Cu] vs ukuran.lokasi	1,65	0,234

\* p<0,05

Korelasi	F	P
[Cd] vs ukuran	7,65	0,007*
[Cd] vs lokasi	0,21	0,656
[Cd] vs ukuran.lokasi	5,53	0,020*

\* p<0,05

Korelasi	F	P
[Zn] vs ukuran	1,04	0,382
[Zn] vs lokasi	31,38	0,000*
[Zn] vs ukuran.lokasi	2,05	0,172

\* p<0,05

Grafik 1. Hubungan antara konsentrasi logam Cu, Cd dan Zn di dua lokasi (Surabaya dan Kangean) menurut ukuran pada species *Anadara inadequate* dan hasil perhitungan ANOVA dua faktor ; (dw = berat kering)

Berdasarkan grafik 1a, diperoleh hasil bahwa konsentrasi Cu pada *A.inadequate* di Surabaya relatif lebih tinggi dibandingkan di Kangean untuk semua ukuran, dengan kisaran  $5,58 \pm 0,17 \mu\text{g/g dw}$  sampai  $8,73 \pm 2,90 \mu\text{g/g dw}$ . Sementara di Kangean berkisar  $4,06 \pm 0,47 \mu\text{g/g dw}$  sampai  $4,77 \pm 0,97 \mu\text{g/g dw}$ . Mengacu pada hasil perhitungan ANOVA dengan dua faktor (lokasi dan ukuran), diperoleh hasil bahwa konsentrasi Cu menurut lokasi memberikan hasil signifikan, tetapi tidak signifikan untuk ukuran. Dan hasil interaksi keduanya terhadap konsentrasi memberikan hasil yang tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Cu pada *A. inadequate* bersifat heterogen antara kedua lokasi tetapi tidak tergantung pada ukuran. Kondisi yang sama juga ditemukan pada logam Zn (grafik 1c) dengan kisaran  $100 \pm 17 \mu\text{g/g berat kering}$  sampai  $128 \pm 15 \mu\text{g/g berat kering}$  di Surabaya, dan di Kangean dengan kisaran  $62 \pm 8 \mu\text{g/g dw}$  sampai  $70 \pm 12 \mu\text{g/g dw}$ .

Pada logam Cd (grafik 1b) terjadi hal yang berlawanan. Konsentrasi Cd di Surabaya dan Kangean tidak memberikan hasil yang berbeda secara signifikan, tetapi konsentrasi Cd berdasarkan ukuran memberikan hasil yang signifikan. Konsentrasi Cd di Kangean berkisar pada  $7,89 \pm 0,17 \mu\text{g/g dw}$  sampai  $13,30 \pm 1,55 \mu\text{g/g dw}$ , sedangkan di Surabaya berkisar  $9,56 \pm 0,48$  sampai  $12,87 \pm 2,85 \mu\text{g/g dw}$ . Dan hasil interaksi keduanya terhadap konsentrasi Cd memberikan hasil yang berbeda secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akumulasi logam Cd pada *A.inadequate* di kedua lokasi tidak berbeda jauh.

#### PEMBAHASAN

**Hubungan Ukuran dengan Konsentrasi Logam Berat.** Dari hasil uji biometrik pada *A.inadequate* dan *G.tumidum* memberikan hasil bahwa ada hubungan antara konsentrasi logam berat menurut spesies dan jenis logam berat. Terjadi korelasi yang positif antara konsentrasi Cd dan ukuran dari spesies *A.inadequate* ataupun *G.tumidum* yang berasal dari Kangean. Hal ini menandakan bahwa semakin besar ukuran spesies, maka semakin besar pula konsentrasi logam berat yang diakumulasi. Fenomena yang sama juga ditemui pada logam Cu, meskipun hanya pada spesies *G.tumidum* saja.

Korelasi positif juga ditemui pada penelitian Riget *et al* [11] pada spesies *Mytilus edulis* di Greenland. Riget menambahkan bahwa korelasi positif dapat terjadi karena tingkat akumulasi logam relatif lebih tinggi dibandingkan tingkat perkembangan organisme tersebut.

Disisi lain, fenomena yang bertolak belakang (korelasi negatif) juga ditemui pada beberapa penelitian terdahulu. Joiris dan Azokwu [12] menambahkan bahwa terjadi korelasi negatif antara ukuran spesies *Anadara senilis* (di Nigeria) dan tingkat konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Fe, Zn dan Cu) pada tubuh mereka. Tipe korelasi negatif yang sama juga terjadi pada spesies *Mytilus edulis* dari beberapa peneliti [1,13,14,15], *Mytilus galloprovincialis* [16,17,18,19]. Joiris dan Azokwu [12] menambahkan bahwa “semakin kecil individu, semakin besar tingkat konsentrasi logam”, dengan kata lain indi-

vidu yang lebih kecil mengakumulasi logam lebih besar dibanding individu yang berukuran besar. Mereka menamakan fenomena ini sebagai efek “growth dilution”. Mengenai fenomena ini, Williamson [20] melalui penelitian mengenai tingkat akumulasi logam oleh sejenis moluska *Cepaea hortensis* memberikan argumen bahwa peningkatan kegiatan metabolisme pada individu yang lebih kecil ukurannya memberikan efek peningkatan tingkat akumulasi logam. Dan hasil studi ini memberikan indikasi terjadinya hal yang sama, yaitu terjadi korelasi negatif antara ukuran individu spesies dengan tingkat konsentrasi atau akumulasi logam.

TABEL 1  
KORELASI ANTARA KONSENTRASI LOGAM DENGAN UKURAN PADA  
SPESIES *A.INADEQUATE* DAN *G.TUMIDUM* DI KEDUA LOKASI

Spesies	Logam Berat		
	Cu	Cd	Zn
<i>Anadara inadequate</i> (Kangean)	ns	s	ns
<i>Gafrarium tumidum</i> (Kangean)	s	s	ns
<i>Anadara inadequate</i> (Surabaya)	ns	ns	ns

**Perbandingan Tingkat Konsentrasi Logam menurut Lokasi ; kasus *Anadara inadequate*.** Spesies perbandingan yang digunakan adalah *A.inadequate* karena ditemukan di kedua lokasi dan dalam jumlah besar dengan ukuran bervariasi. Secara umum, konsentrasi logam pada *A.inadequate* di kepulauan Kangean relatif lebih kecil dibandingkan di Surabaya.

Akumulasi logam Cu dan Zn pada *A.inadequate* lebih tinggi di Surabaya secara signifikan dibandingkan Kangean. Sebaliknya, pada logam Cd justru lebih rendah di Surabaya dibandingkan di Kangean (meskipun tidak signifikan karena hanya pada individu dengan ukuran besar saja).

Studi mengenai akumulasi logam berat pada genus *Anadara* telah banyak dilakukan oleh para peneliti (tabel 2), dan tingkat akumulasi logam di kepulauan Kangean dan Surabaya cenderung relatif lebih tinggi dibandingkan lokasi lain di dunia. Sebagai contoh, konsentrasi Zn dan Cu *A.inadequate* lebih tinggi 4 (di Kangean) hingga 7 (di Surabaya) kali lipat dibandingkan dengan *A.senilis* di Nigeria [12] ataupun *Anadara senegalensis* di Ghana [21].

**Spesies Bioindikator.** Mengacu pada kriteria spesies bioindikator menurut Ramade [6], sangat jarang ditemukan spesies yang memenuhi seluruh kriteria tersebut. Jika kita mengacu pada tingkat konsentrasi logam, satu dari beberapa kriteria Ramade [6], maka empat spesies (*Nassarius globosus*, *Anadara inadequate*, *Saccostrea cucullata* dan *Hinia* sp.) merupakan kandidat tepat (lihat Tabel 3).

Namun, skala prioritas penentuan spesies bioindikator juga merujuk pada kelimpahan relatif, distribusi ekologis dan geografis yang tinggi pada genus atau spesies yang dimaksud. Sehingga genus *Anadara* yang ditemukan di kedua lokasi penelitian penulis berdasar kelimpahan relatif, skala distribusi ekologis dan geografis (lihat tabel 2) yang tinggi memberikan nilai lebih sebagai kandidat spesies bioindikator dalam program biomonitoring akumulasi logam berat.

TABEL 2  
KONSENTRASI RERATA LOGAM BERAT PADA GENERA ANADARA ; PERBANDINGAN ANTAR LOKASI  
(DALAM  $\mu\text{G/G DW}$ )

Lokasi	Spesies	Logam Berat					Referensi
		Pb	Cd	Cu	Zn	Hg	
Indonesia (Kangean)	<i>Anadara inadequate</i>	-	10,98	4,4	67	-	Studi ini
Indonesia (Surabaya)	<i>Anadara inadequate</i>	-	11,31	7	111	-	Studi ini
Indonesia (Surabaya)	<i>Anadara maculosa</i>	-	-	-	-	1999,5	[7]
Nigeria	<i>Anadara (Senilia) senilis</i>	0,04	0,03	1,0	15	-	[12]
Ghana	<i>Anadara (Senilia) senilis</i>	-	-	-	-	0,19	[22]
Ghana	<i>Anadara senegalensis</i>	0,6	-	1,0	13	-	[21]
Malaysia	<i>Anadara granosa</i>	-	-	-	-	0,03 – 0,06	[23]
Nigeria	<i>Anadara (Senilia) senilis</i>	-	-	-	-	0,18	[24]
Ambang batas (untuk ikan)		-	0,05*	10*	100*	0,5*	[25]

\* dalam mg/kg untuk ikan di Indonesia mengacu pada standar WHO  
(tidak ditemui nilai ambang batas kadar logam berat untuk moluska di Indonesia)

TABEL 3  
SPESIES YANG MENGAKUMULASI LOGAM TERTINGGI (Cu, Cd DAN Zn)  
DI DUA LOKASI PENELITIAN (KEPULAUAN KANGEAN DAN SURABAYA)

Logam Berat	Spesies	
	Tingkat Akumulasi ( $\mu\text{g/g dw}$ )	
	Kangean	Surabaya
Cu	<i>Nassarius globosus</i>	<i>Hinia</i> sp.
	192,93 $\pm$ 154,65	522,83 $\pm$ 125,06
Cd	<i>Anadara inadequate</i> (besar)	<i>Anadara inadequate</i> (besar)
	13,30 $\pm$ 1,55	12,87 $\pm$ 2,85
Zn	<i>Saccostrea cucullata</i>	<i>Hinia</i> sp.
	1816 $\pm$ 367	422 $\pm$ 183

#### KESIMPULAN

Studi biometrik memberikan hasil bahwa akumulasi logam berat tidak selalu memberikan korelasi positif dengan ukuran tubuh individu. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi korelasi antara konsentrasi logam dengan ukuran tubuh individu, yaitu logam berat itu sendiri, spesies dan lokasi penelitian.

Konsentrasi logam Cu, Cd dan Zn di kedua lokasi pada spesies *A.inadequate* dan *G.tumidum* memberikan hasil yang bervariasi bergantung pada ukuran. Dan korelasi positif ataupun negatif antara konsentrasi logam dengan ukuran juga terjadi pada penelitian sebelumnya, sehingga hasil penelitian ini memberikan kontribusi tambahan sebagai database.

*A.inadequate* merupakan spesies kandidat sebagai spesies bioindikator dalam program biomonitoring logam berat. Hal ini didasarkan pada keberadaannya di kedua lokasi penelitian, dan genus *Anadara* secara umum dapat ditemukan di tropis. Selain itu, *A.inadequate* merupakan spesies yang mudah dikoleksi, dan juga mengakumulasi logam relatif lebih tinggi (Cu, Cd dan Zn).

Secara umum, tingkat akumulasi logam berat di kepulauan Kangean relatif lebih rendah dibandingkan di pantai Kenjeran Surabaya, kecuali logam Cd pada spesi-

es *A.inadequate* (rerata) berkisar 10,98  $\mu\text{g/g dw}$  di Kangean dan 11,31  $\mu\text{g/g dw}$  di Surabaya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *region Poitou-Charente, ville de La Rochelle, Université de La Rochelle* yang telah membiayai penelitian, dan Prof. Charles Illouz, Dr. Philippe Grangé, Dr. Denis Fichet dan Dr. Gilles Radenac yang telah memberikan bimbingan selama studi, dan juga teman-teman di Laboratoire Biologie et Environnement Marin (LBEM) yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Phillips, D.J.H. 1976. "The common mussel, *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. effect of environmental variables on uptake of metals". *Marine Biology* 38: 59-69.
- [2] Absil, M.C.P., M. Berntssen., L.J.A. Gerringa. 1996. "The influence of sediment, food and organic ligands on the uptake of copper by sediment-dwelling bivalves". *Aquatic Toxicology* 34: 13-29.
- [3] Bustamante, P. 1998. "Bioaccumulation des éléments traces chez les mollusques céphalopodes et bivalves pectinides. Implication de leur disponibilité pour le transfert vers les prédateurs". *Thèse doctorat Université de La Rochelle*. hal 48-64.
- [4] Breau, L. 2003. Etude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales: Recherche de bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. *Thèse doctorat Université de La Rochelle*. 317 halaman.
- [5] Aunurohim, G.Radenac, D.Fichet. 2006. Konsentrasi logam berat pada makrofauna benthik di kepulauan Kangean, Madura. *Berkala Penelitian Hayati* 12 (1) :79-86.
- [6] Ramade, F. 1992. Précis d'écotoxicologie. Masson, Paris. hal 176-177.
- [7] Zakiyah, U. dan Mulyanto. 1998. Studi tentang konsentrasi merkuri (Hg) dan hubungannya dengan kondisi insang kerang bulu (*Anadara maculosa* REEVE) di perairan pantai Kenjeran Surabaya. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik (Engineering)* vol 10 no:1. hal 35-45.
- [8] Abbot, R.T and S.P. Dance. 1982. *Compendium of seashells*. American Malacologist, Inc. Melbourne. 411 halaman.



- [9] Pigeot, J. 2001. Approche écosystemique de la contamination métallique du compartiment biologique benthique des littoraux charentais : exemple du bassin de Marennes-Oleron. *Thèse doctorat Université de La Rochelle*. 305 halaman.
- [10] Fichet, D. 1997. Etude de la biodisponibilité des métaux lourds dans les sédiments portuaires avant et après dragage : recherche de bioindicateurs de leur toxicité. *Thèse doctorat, Université de La Rochelle*. 173 halaman.
- [11] Riget, F., P. Johansen and G. Asmund. 1996. Influence of length on element concentrations in blue mussels (*Mytilus edulis*). *Marine Pollution Bulletin* 32(10): 745-751.
- [12] Joiris, C.R and Azokwu, M.I. 1999. Heavy metals in the Bivalve *Anadara (Senilia) senilis* from Nigeria. *Marine Pollution Bulletin* 38(7) : 618-622.
- [13] Simpson, R., 1979. Uptake and loss of zinc and lead by mussels (*Mytilus edulis*) and relationship with body weight and reproductive cycle. *Marine Pollution Bulletin* 10: 74-78.
- [14] Cossa, D., Bourget, E., Pouliot, D., Puize, J., Chanut, J.P., 1980. Geographical and seasonal variations in the relationship between trace metal content and body weight in *Mytilus edulis*. *Marine Biology* 58: 7-14.
- [15] Boalch, R. Chan.S. Taylor.D. 1981. Seasonal variation in the trace metal content of *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin* 12: 276-280.
- [16] Fowler, S.W. Heyraud, M. La Rosa, J. 1978. Factor affecting methyl and inorganic mercury dynamics in mussels and shrimp. *Marine Biology* 46: 267-276.
- [17] Ünlü, M.Y and Fowler.S.W. 1979. Factor affecting the flux of arsenic through the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Biology* 511: 209-219.
- [18] Martincic, D. Kwokal, Z. Peharec, D. Margus, D. Branica, M. 1992. Distribution of Zn, Pb, Cd and Cu between seawater and transplanted mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Sci Total Environ* 119: 211-230.
- [19] Saavedra, Y.A., A. Gonzalez, P. Fernandez, J. Blanco. 2004. The effect of size on trace metal levels in raft cultivated mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *The Science of the Total Environment* 318: 115-124.
- [20] Williamson, P.D. 1980. Variables affecting body burdens of lead, zinc and cadmium in roadside populations of the snail *Cepaea hortensis* Müller. *Oecologia* (Berlin) 44: 213-220.
- [21] Biney.C.A. 1991. A baseline study of trace metals in marine organisms from Ghana, West Africa. In: Magoon OT, editor. *Coastal Zones* 91. Long-beach California: ASCE. hal 1155-1167.
- [22] Otchere, F.A., C.R.Joiris. L.Holsbeek. 200). Mercury in the bivalves *Anadara (Senilis) senilis*, *Perna perna* and *Crassostrea tulipa* from Ghana. *The Science of the Total Environment* 304: 369-375.
- [23] Jothy, A.A. Husschenbeth, E. Harms, U. 1983. On the detection of heavy metals, organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in fish and shellfish from coastal waters of Peninsular Malaysia. *Arch Fischereiwiss* 33(3): 161-206.
- [24] Joiris, C.R. Azokwu, M.I. Otchere, F.A. Ali, I.B. 1998. Mercury in the bivalve *Anadara (Senilia) senilis* from Ghana and Nigeria. *Sci Total Environ* 224: 201-210.
- [25] Darmono. (1995). Logam Berat dalam Sistem Biologi Makhhluk Hidup. Universitas Indonesia. Jakarta. 87 halaman.